

Importance des facteurs de l'environnement dans le choix des têtes de clones chez le palmier à huile ⁽¹⁾

L. BAUDOUIN (2), ASMADY (2), J. M. NOIRET (3)

Résumé. — La production de clones sélectionnés est un processus long et coûteux. Une attention particulière doit être apportée aux méthodes de sélection du matériel végétal, de façon à obtenir une augmentation appréciable des rendements. Pour cela, il est nécessaire d'éliminer, autant que possible, les effets dus à l'environnement qui faussent l'estimation du potentiel de la valeur génétique des têtes de clones. L'emplacement dans la parcelle, en particulier, est un des facteurs qui affectent le phénotype d'un arbre. Cet effet peut représenter jusqu'à 50 p. 100 de la variance environnementale et son estimation est possible par l'utilisation d'une méthode dite de « lissage ». La compétition entre arbres est un autre facteur à prendre en considération : un arbre haut producteur à fort développement végétatif peut donner un clone décevant en raison d'importantes compétitions intra-clonales.

INTRODUCTION

Parmi les plantes oléagineuses tropicales, le palmier à huile est la plus importante, que l'on considère la production mondiale ou le rendement à l'hectare. Elle a fait l'objet depuis plusieurs décennies de travaux actifs d'amélioration génétique. Cependant, il s'agit d'une plante allogame et à long cycle de développement. De ce fait, il existe toujours à l'intérieur du matériel végétal commercial une forte hétérogénéité. Ainsi, certains arbres produisent 60 p. 100 de plus que la moyenne du croisement auquel ils appartiennent [Noiret, 1981].

On peut donc espérer améliorer de façon substantielle la production du matériel commercial en multipliant végétativement les meilleurs arbres des bons croisements. C'est pourquoi des recherches ont été entreprises pour assurer la propagation par voie végétative du palmier à huile, grâce à la culture de tissus.

Parallèlement aux efforts accomplis pour développer cette technique, il a fallu mettre au point des procédures de choix permettant d'identifier les meilleurs arbres afin de les cloner. La difficulté de cette opération provient du fait que la production d'un arbre est la résultante d'un grand nombre de facteurs d'origine génétique et environnementale.

L'objectif du sélectionneur est donc de réduire autant que possible la part des effets de l'environnement afin d'obtenir une évaluation aussi proche que possible de la valeur génétique de l'arbre étudié. La méthode classique pour réduire le rôle des facteurs dus à l'environnement consiste à répéter les observations dans des situations différentes. C'est ainsi que l'utilisation d'essais en blocs randomisés permet d'obtenir une estimation précise de la valeur d'un croisement en dépit d'un environnement variable. Il est évident qu'une telle procédure ne peut être appliquée lorsqu'il s'agit d'exploiter la variabilité entre arbres au sein d'un matériel existant. En effet, chaque arbre est génétiquement unique.

Il est impossible de tenir une comptabilité exhaustive de

tous les facteurs de l'environnement susceptibles d'influer sur la valeur d'un arbre, cependant on peut les ranger dans trois grandes catégories. Notre critère de classification est leur influence sur la ressemblance entre deux arbres voisins.

La première catégorie est constituée de facteurs dont l'action s'exerce sur une certaine étendue. Ils obéissent à une répartition spatiale déterminée à travers la parcelle, et leur intensité varie à peu près de façon continue d'un point à un autre. Ces propriétés ont pour conséquence l'existence d'une corrélation positive entre arbres voisins, cette corrélation étant d'autant plus élevée que les arbres sont proches. On peut considérer *a priori* qu'il en est ainsi des caractéristiques physico-chimiques du sol ; c'est pourquoi, pour simplifier, nous réunirons l'ensemble de ces caractères sous le vocable de facteurs liés à la fertilité du sol.

Par contraste, d'autres facteurs apparaissent indépendants de la position de l'arbre dans la parcelle. Ils peuvent être représentés par une variable aléatoire.

Enfin, on peut considérer la situation spéciale où deux arbres voisins ont un développement végétatif très différent. Dans un tel cas, l'arbre le plus grand et le plus encombrant recevra une quantité de lumière plus importante que la moyenne des arbres et sera donc favorisé, tandis que le plus petit devra supporter des conditions moins favorables. C'est alors une corrélation négative entre voisins qui sera observée. En fait, une telle situation peut se produire assez fréquemment dans un essai génétique où des matériels végétaux très différents sont comparés.

Notre objectif est de décrire les méthodes susceptibles de réduire l'importance des causes d'erreurs dues à l'environnement, en nous intéressant plus particulièrement aux facteurs liés à la fertilité du sol.

LES FACTEURS LIÉS À LA FERTILITÉ

Mise en évidence.

On a observé les productions de régimes sur trois essais génétiques de la station d'Aek Kwasan (situés sur des sols jaune-rouge podzoliques développés sur des sédiments liparitiques d'origine volcanique ancienne), et un essai de la station de La Mé (sols ferrallitiques sur sables tertiaires). Dans chaque cas les productions individuelles ont été enre-

(1) Communication présentée aux « 1987 International Oil Palm/Palm Oil Conferences — Progress and Prospects », 23 juin-1^{er} juillet 1987 Kuala Lumpur (Malaisie).

(2) Aek Kwasan, c/o SOCFINDO, P.O. Box 254 Médan (Indonésie).

(3) IRHO-CIRAD, B P 5035, 34032 Montpellier Cedex (France).

gistrées, et on a corrigé ces observations en divisant la production de chaque arbre par la moyenne de sa lignée. Le but de cette opération est d'éliminer les variations dues aux différences entre croisements. Les facteurs de variabilité qui affectent ces productions corrigées sont donc d'une part la variabilité génétique intra-croisement, que l'on peut considérer comme aléatoire, et d'autre part la variabilité due à l'environnement.

La figure 1 représente la cartographie des productions corrigées dans l'essai AK-GP 03. On constate que la répartition des arbres les plus hauts producteurs n'est pas indépendante de leur situation dans la parcelle, mais au contraire qu'ils tendent à se regrouper dans certaines zones.

Une partie au moins de la variabilité s'explique par un facteur qui prend une valeur déterminée en chaque point de la parcelle, et qui peut s'exprimer sous la forme d'une fonction continue de sa position. L'étude et la mesure de tels facteurs de variation sont du ressort de la théorie des variables régionalisées [Matheron, 1965]. Lorsqu'on étudie les valeurs prises par une variable régionalisée, les paramètres de moyenne et de variance n'ont pas de signification, par contre, l'écart entre les valeurs observées entre deux points séparés par une distance donnée peut être analysé comme une variable aléatoire de moyenne nulle et de variance $V(d)$. On obtient ainsi une fonction appelée demi-variogramme qui associe variance et distance entre arbres. Le demi-variogramme de l'essai AK-GP 03 est représenté à la figure 2. On peut interpréter le demi-variogramme comme la somme d'un terme constant qui est

donné par l'ordonnée à l'origine et désigné sous le nom d'« effet de pépité » et d'un terme qui croît en fonction de la distance.

Le demi-variogramme permet ainsi de décrire deux types de variabilités au sein de la parcelle : l'un, indépendant de la position de l'arbre, et dont l'importance est mesurée par l'effet de pépité, l'autre qui est une fonction de cette position. C'est cette fonction que nous avons assimilée plus haut à la fertilité du sol. Notre objectif sera maintenant d'estimer cette fonction pour pouvoir la soustraire de la valeur observée.

Estimation.

Pour estimer la fertilité du sol, nous emploierons une méthode de « lissage » qui est semblable à l'utilisation des « moyennes mobiles » dans l'analyse des séries de données temporelles : on remplace alors l'observation effectuée à une date donnée par la moyenne de n observations effectuées avant et après cette date. De la même façon, nous estimerons la fertilité en un point par la moyenne des productions corrigées des arbres qui entourent ce point.

A la différence des moyennes mobiles chaque observation est affectée d'un coefficient de pondération qui est fonction de la distance à l'arbre central. Il est ainsi possible d'ajuster ces coefficients afin de minimiser l'erreur d'estimation.

Les calculs ont été effectués sur un ordinateur « compatible IBM-PC » à l'aide de programmes écrits en basic puis compilés.

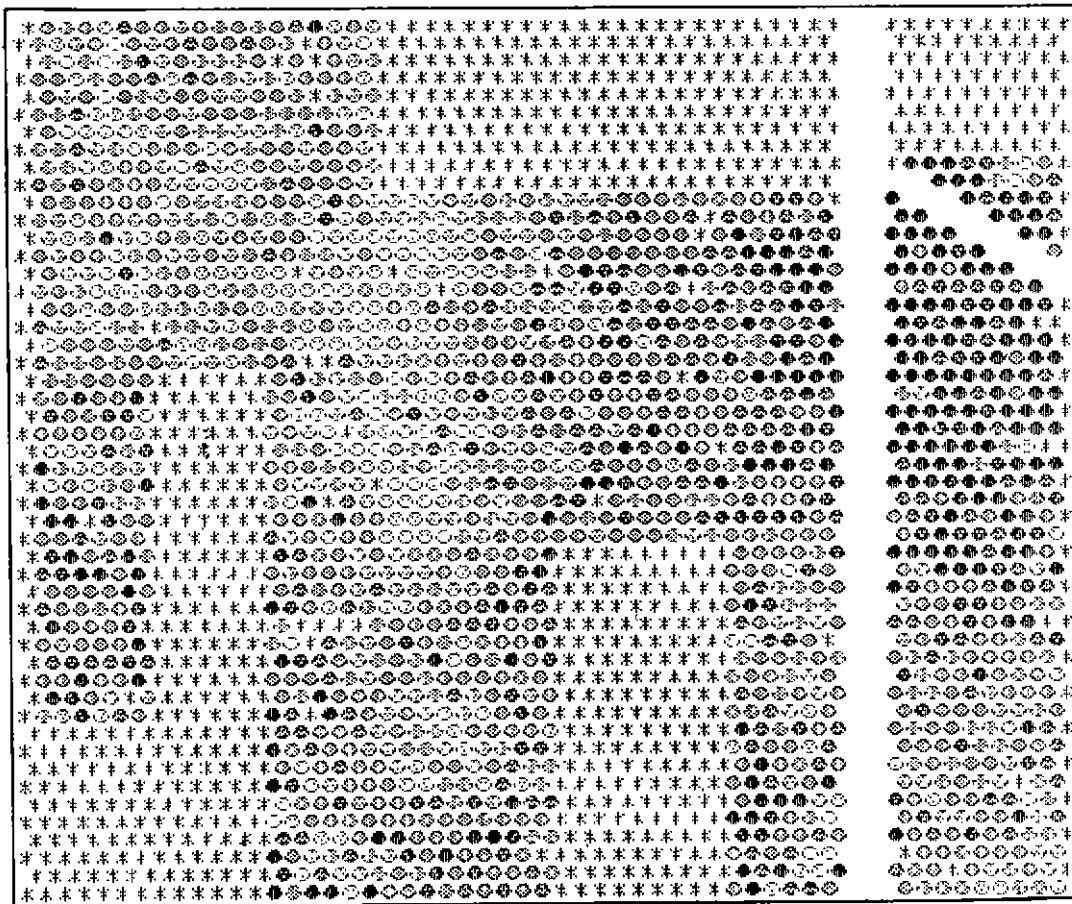


FIG. 1 — Carte des productions corrigées (P) — Essai AK-GP 03 avant lissage (*Map of corrected productions — P — in AK-GP 03 before smoothing*)

l. Hors essai ou donnée manquante (<i>Not included in the trial or missing tree.</i>)	⊗ 0,850 < P ≤ 0,900	⊗ 1,050 < P ≤ 1,100
⊙ 0,000 < P ≤ 0,850	⊙ 0,900 < P ≤ 0,950	⊙ 1,100 < P ≤ 1,150
	⊙ 0,950 < P ≤ 1,050	⊙ 1,150 < P

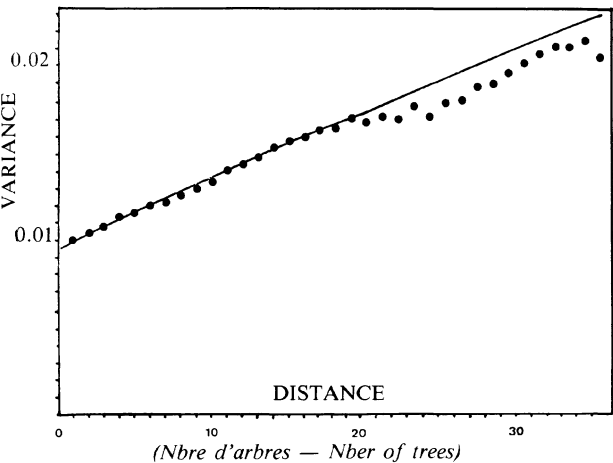


FIG. 2. — Demi-variogramme de la variable poids total de régimes — Essai AK-GP 03 (*Semi-variogram for variable FFB — Trial AK-GP 03*).

Importance des variations de fertilité.

La figure 3 représente la carte de l'essai AK-GP 03 après lissage. Les variations « aléatoires » ont été éliminées totalement, elles laissent place à une gradation continue. Les hétérogénéités observées sont considérables puisque la fertilité passe, selon les endroits, de moins de 0,7 à plus de 1,2, soit un écart de 1 à 2. S'il s'agit de comparer les moyennes de croisements, de telles variations sont palliées grâce au dispositif statistique, mais il est impossible de les ignorer dans le cadre de la recherche de têtes de clones.

Les résultats du lissage dans les deux autres essais d'Aek Kwasan ont amené des conclusions semblables avec des variogrammes dont la croissance est continue sur toute la gamme des distances observées. Par contre, le variogramme de l'essai LM-GP 08 en Côte d'Ivoire a un aspect très différent (Fig. 4) : la variance croît légèrement, puis atteint un palier pour une distance de 70 mètres. Ceci correspond à une fertilité à peu près constante dans toute la parcelle avec, par endroits, quelques « taches » de meilleure (ou de moins bonne) fertilité. Ces variations sont d'ailleurs d'une amplitude comparable à celle de l'erreur d'estimation. On est donc dans une parcelle ne présentant pas de gradient décelable.

Inversement, l'absence de branche horizontale dans les variogrammes d'Aek Kwasan montre une variation continue à l'échelle de la parcelle.

La figure 5 représente la structure de la variabilité phénotypique des trois essais d'Aek Kwasan. De bas en haut, on trouve la variabilité génétique, puis la variabilité aléatoire due à l'environnement et enfin la variabilité liée à la fertilité du sol, qui représente donc entre 45 et 60 p. 100 de la variabilité environnementale. Si l'on effectue une sélection sur le critère production de régimes, le progrès génétique attendu s'écrit $P = i \cdot h^2 \cdot \sigma_p$ [Falconer, 1967] soit encore $P = i \cdot \sigma_g^2 / \sigma_p$ où i représente l'intensité de sélection. Dans la mesure où l'héritabilité est faible, diviser la variance environnementale par 2 revient à multiplier le progrès génétique par un coefficient légèrement inférieur à $\sqrt{2}$.

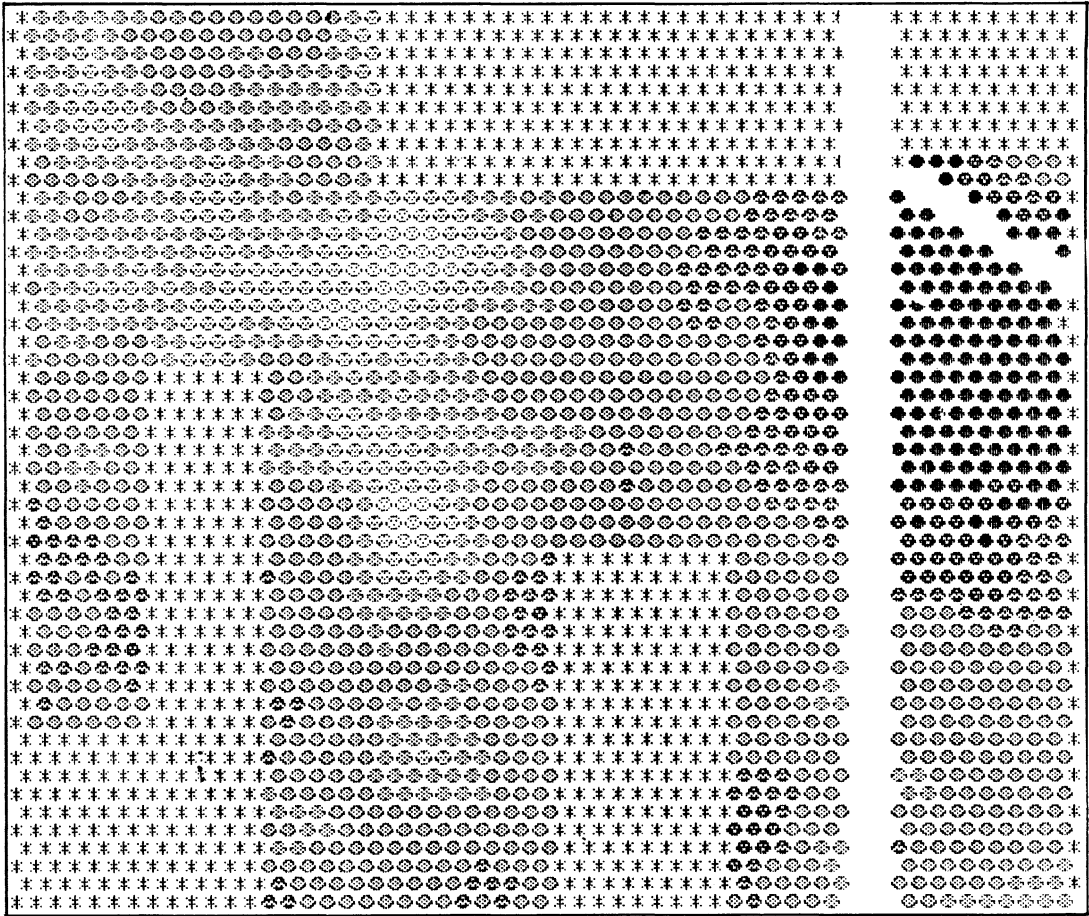


FIG. 3. — Carte de fertilité (F) — Essai AK-GP 03 après lissage (*Map of fertility — F — in AK-GP 03 after smoothing*).

* Hors essai (Not included in the trial).	⊗ 0,850 < F ≤ 0,900	⊗ 1,050 < F ≤ 1,100
⊗ 0,000 < F ≤ 0,850	⊗ 0,900 < F ≤ 0,950	⊗ 1,100 < F ≤ 1,150
	⊗ 0,950 < F ≤ 1,050	⊗ 1,150 < F

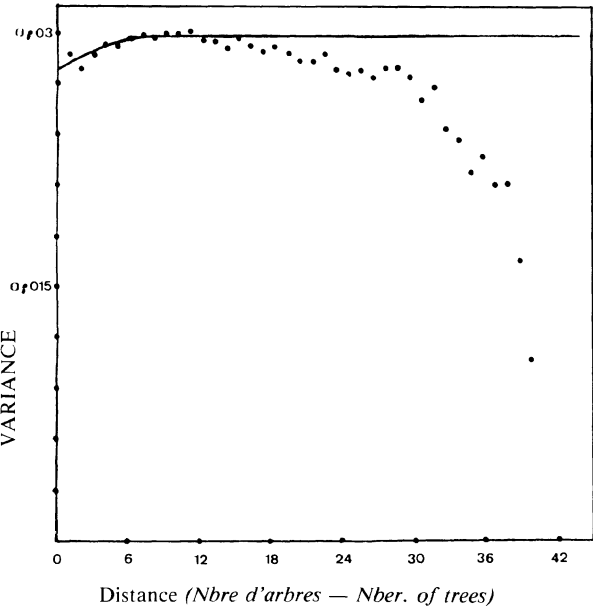


FIG. 4. — Demi-variogramme de la variable poids total de régimes — Essai LM-GP 08 (Semi-variogram for variable FFB — Trial LM-GP 08).

AUTRES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX

Facteurs aléatoires.

Les facteurs aléatoires sont du ressort de la statistique classique. Chaque fois que cela est possible, on a intérêt à multiplier les observations. C'est ainsi que la production de régimes sera observée pendant plusieurs années et qu'on réalisera, pour chaque candidat-tête de clones, un nombre suffisant d'analyses réparties tout au long de l'année [Noiret, 1986].

Facteurs liés à la compétition.

Nous avons déjà signalé dans l'introduction que des arbres à fort développement pouvaient se trouver en situation privilégiée au sein d'un essai génétique, forcément hétérogène. Les bonnes performances de tels arbres risquent de ne pas être reproduites par les clones qu'on pourrait en tirer. En effet, les arbres appartenant à un clone à fort développement entreront en compétition, en particulier pour la lumière, et l'on observera probablement une baisse de production à l'âge adulte.

Il est donc nécessaire de tenir compte des caractères végétatifs dans le choix des têtes de clones. Il existe d'ailleurs une importante variabilité dans ce domaine chez le palmier à huile. Le tableau I résume les observations végétatives effectuées sur un essai d'Aek Kwasan. Dans cet essai, 19 croisements Déli × La Mé sont testés avec six témoins locaux (ces témoins ont en commun une ascen-

TABLEAU I. — Caractères végétatifs : comparaison entre deux types de matériel (Plant growth characters : comparison between 2 types of material)

	Origine (Origin)		t Test
	Témoin local (Local standard crosses)	Déli × La Mé	
Nombre de croisements (Nber of progenies)	5	19	
Surface foliaire (Leaf area) (m ²)	8,27	6,88	***
Longueur du pétiole (Length of petiole) (m)	1,42	1,15	***
Hauteur du stipe (Stem height) (m)	1,74	1,34	***
Rayon de la projection verticale de la canopée (Radius of vertical projection of canopy) (m)	5,30	5,11	N.S.

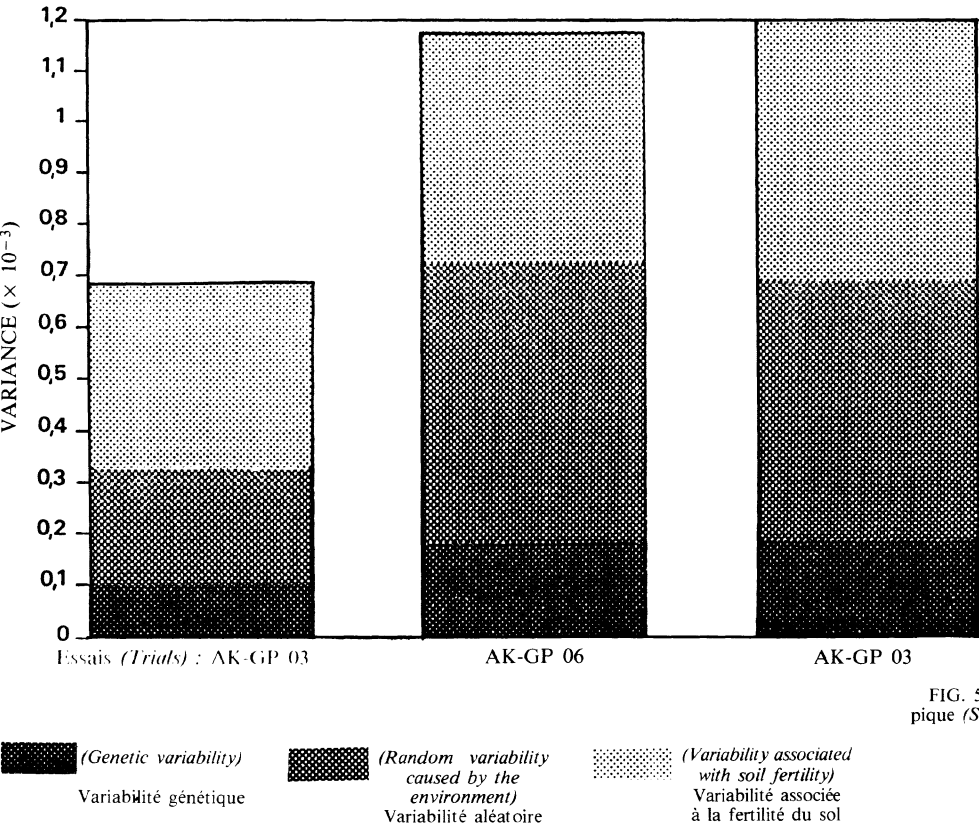


FIG. 5. — Structure de la variance phénotypique (Structure of phenotypic variance).

dance *tenera* provenant du Zaïre). Le matériel Déli × La Mé se distingue nettement par une croissance plus lente, une surface foliaire plus réduite et un pétiole plus court. D'autres facteurs concourent à rendre plus aisée la pénétration de la lumière à l'intérieur des couronnes et donc la compétition moins importante : des palmes plus souples et plus décombantes, une répartition plus régulière des folioles le long de la palme (au contraire, les croisements indonésiens possèdent des folioles larges et serrées sur le tiers distal du rachis).

Il est par conséquent important, d'une part de s'adresser à un matériel végétal peu encombrant et à croissance lente, d'autre part de s'assurer, par une visite sur le terrain, que l'arbre qu'on a choisi sur des critères quantitatifs se trouve dans des conditions de compétition normales.

DISCUSSION

La réflexion qui a été menée sur la structure de la variabilité environnementale a permis de mettre au point une méthode efficace pour en réduire les effets perturbateurs sur l'efficacité des choix de têtes de clones. Elle a conduit à appliquer les méthodes de la géostatistique à l'étude des facteurs de l'environnement. On a ainsi mis en évidence un facteur, que nous avons assimilé à la fertilité du sol, et qui

varie continûment à la surface de la parcelle. Il est possible d'estimer par lissage la valeur prise en chaque point par ce facteur. Tandis que, dans l'un des essais étudiés, une constance remarquable de la fertilité était observée, les trois essais d'Aek Kwasan se sont révélés particulièrement hétérogènes, les écarts entre les zones les moins fertiles et les plus fertiles avoisinant un rapport de 1 à 2. Dans ces essais la fertilité représente à elle seule la moitié des effets dus à l'environnement. Il est alors indispensable de corriger les données brutes pour en tenir compte. Pour cela, on divise la production observée par le « facteur de lissage » qui mesure la fertilité. Cette opération conduit approximativement à doubler l'héritabilité, ou encore à multiplier le progrès génétique attendu par un facteur 1,4. L'étude des variations de la fertilité du sol n'est d'ailleurs pas la seule application possible de la géostatistique à la recherche sur le palmier : en particulier Lecoustre et de Reffye [1986] l'ont employée pour analyser les zones d'attaques d'un ravageur ou pour étudier les caractéristiques de la propagation d'une maladie chez le palmier à huile et le cocotier.

Les autres facteurs de l'environnement peuvent également être réduits par la répétition des observations lorsqu'elle est possible. Enfin, la prise en compte des phénomènes de compétition, en conduisant à éliminer les arbres à très fort développement contribue à rendre plus sûre la reproduction des caractéristiques de la tête de clone par ses descendants.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] FALCONER D. S. (1967). — *Introduction to quantitative genetics* Oliver and Boyd, Edinburgh and London, 365 p.
- [2] LECOUSTRE R. et REFFYE P. de (1986). — La théorie des variables régionalisées, ses applications possibles dans le domaine épidémiologique aux recherches agronomiques en particulier sur le palmier à huile et le cocotier (bilingue fr.-angl.). *Oléagineux*, 41, N° 12, p. 541-548.
- [3] MATHERON G. (1965). — La théorie des variables régionalisées et ses applications. *Cah. Centre de Morphologie*, n° 5, Ecole des Mines, Paris.
- [4] NOIRET J. M. (1981). — Application de la culture *in vitro* à l'amélioration et à la production de matériel clonal chez le palmier à huile (trilingue fr.-angl.-esp.). *Oléagineux*, 36, N° 3, p. 123-126.
- [5] NOIRET J. M., DURAND-GASSELIN T., KONAN KOUAKOU, BAUDOUIN L., PANNETIER C., DUVAL Y. (1986). — Vegetative propagation of the oil palm through *in vitro* culture. *Communication at International Conference on Oil Palm*, Port Harcourt, Nigeria.

SUMMARY

Importance of environmental factors in the choice of oil palm ortets.

L. BAUDOUIN, ASMADY, J. M. NOIRET, *Oléagineux*, 1987, 42, N° 7, p. 263-269.

The production of selected clones is a lengthy and expensive process. Special attention has to be paid to the methods used for selecting cloning material, so that an appreciable increase in yields can be obtained. To do this it is necessary to eliminate, as far as possible, any environmental effects likely to falsify the estimation of the potential ortet's genotypical value. A large number of environmental factors are linked to the position of the tree within the plot in question. It may represent up to 50 p. 100 of environmental variance and can be estimated by smoothing. Another factor to be taken into account is competition between trees : a high yielding tree with strong growth development is quite capable of producing disappointing clones due to inter-tree competition.

RESUMEN

Importancia de los factores relacionados con el medio ambiente en la elección de las cabezas de clones en la palma africana.

L. BAUDOUIN, ASMADY, J. M. NOIRET, *Oléagineux*, 1987, 42, N° 7, p. 263-269.

La producción de clones seleccionados es un proceso largo y costoso. Una atención especial deberá dedicarse a los métodos de mejoramiento del material vegetal, a fin de obtener un aumento notable de los rendimientos. A tal efecto se necesita eliminar en lo posible los efectos que resultan del medio ambiente, que tuercen la evaluación del potencial del valor genético de las cabezas de clones. Entre otras cosas, la ubicación en las parcelas es uno de los factores que influyen en el fenotipo de un árbol. Este efecto puede representar hasta un 50 p. 100 de la variancia del medio ambiente, y puede evaluarse mediante un método llamado de « alisado ». La competencia entre los árboles es otro factor que debe considerarse : un árbol altamente productivo con desarrollo vegetativo importante puede dar un clone decepcionante, por unas fuertes competencias intraclonales.

Importance of environmental factors in the choice of oil palm ortets ⁽¹⁾

L. BAUDOUIN (2), ASMADY (2), J. M. NOIRET (3)

INTRODUCTION

The oil palm is the most important tropical oil crops as regards both world production and yield per hectare. For several decades it has been the subject of active work on genetic improvement. However, it is an allogamous plant with a long development cycle. There is therefore always considerable heterogeneity in commercial planting material, and some trees produce 60 p. 100 more than the mean of the cross to which they belong [Noiret, 1981].

Substantial improvement of commercial planting material can thus be hoped for by vegetative propagation of the best trees from good crosses. This is why research has been undertaken on the vegetative propagation of oil palm by tissue culture.

In parallel with the efforts made to develop this technique, it has been necessary to develop procedures for choosing and identifying the best trees for cloning. The difficulties involved in this operation stem from the fact that the yield of an oil palm is the result of a great number of genetic and environmental factors.

The breeder's objective is therefore to reduce the effects of environmental factors as much as possible in order to obtain as accurate a genetic evaluation as possible. The traditional method used to reduce the role of environmental factors consists in replicating observations in different locations. Thus, the use of trials in random blocks leads to an accurate assessment of the value of a cross in spite of environmental variation. It is obvious that such a procedure cannot be applied to exploit variability between trees in existing material. Each tree is genetically unique.

It is impossible to keep count of all the environmental factors which might affect the value of a tree. However, these factors can be classified in three main categories. Our classification criterion is their influence on the resemblance between two neighbouring trees.

The first category consists of factors whose action covers a certain area. They follow spatial distribution determined throughout the plot, and their intensity varies more or less continuously from one point to another. The result of these properties is the existence of positive correlation between neighbouring trees; this increases with the proximity of the trees. It can be considered *a priori* that this applies to the physicochemical characteristics of the soil. This is why — for reasons of simplification — all these characters are assembled and referred to as factors connected with soil fertility.

In contrast, other factors appear which are independent of the position of the tree in the plot. These can be represented by a random variable.

Finally, the special case in which two neighbouring trees display very different plant growth development can be considered. Here, the tallest, most bulky tree will receive more light than average and will thus be favoured, whereas the smaller tree will have to withstand less favourable conditions. A negative correlation between neighbours will be observed. In fact, such a situation may occur fairly frequently in a genetic trial in which very different types of planting material are compared.

Our objective is to describe the methods liable to reduce the scale of errors caused by the environment by concentrating more particularly on factors connected with soil fertility.

FACTORS CONNECTED WITH FERTILITY

Demonstration.

Bunch yield was observed in three genetic trials at Aek Kwasan (located on yellowish-red podzolic soils overlying old volcanic liparitic deposits) and in one trial at La Mé (ferrallitic soils overlying Tertiary sand). In each case, individual yields were recorded and observations were corrected by dividing the yield of each tree by the mean for its cross. The purpose of this operation is the elimination of variations caused by differences between crosses. The variability factors which affect these corrected yield figures are thus firstly inter-cross genetic variability, which can be considered as a random factor, and variability caused by the environment.

Figure 1 shows a map of corrected yields in trial AK-GP 03. It can be seen that the distribution of the highest yielding trees is not independent of their positions in the plot; they tend to be grouped in certain zones.

At least part of this variability can be explained by a factor which has a particular value at each point in the plot and which can be expressed in the form of a continuous function of its position. The study and measurement of such variation factors is the domain of the theory of regionalized variables [Matheron, 1965]. When the values of a regionalized variable are examined, the mean and variance parameters have no meaning; however, the deviation between the values observed for two points at a given difference from each other can be analysed as a random variable of mean zero and variance $V(d)$. A function called a semi-variogram is thus obtained which combines variance and the distance between trees. The semi-variogram for trial AK-GP 03 is shown in Figure 2. The semi-variogram can be interpreted as the sum of a constant term given by the ordinate at the origin and referred to as « the nugget effect » and a term which increases in function of the distance.

The semi-variogram thus makes it possible to describe two types of variabilities in the plot: one is independent of the position of the tree and is measured by the nugget effect; the other is a function of the position of the tree. This function was considered above as soil fertility. Our aim is now to estimate this function to be able to subtract it from the observed value.

Estimation.

A « smoothing » method is used to assess soil fertility; this is similar to the use of « moving averages » in the analysis of time data: the observation made on a given date is replaced by the mean of n observations made before and after this date. In the same way, fertility is estimated at an individual point by the mean of corrected yields of the trees surrounding this point.

Unlike the case of moving averages, a weighting coefficient which is a function of the distance from the central tree is attributed to each observation. It is therefore possible to adjust these coefficients in order to minimise error in the estimate.

Calculations were carried out on an « IBM PC compatible » micro-computer using programs written in basic and then compiled.

Extent of variations in fertility.

Figure 3 shows the map of trial AK-GP 03 after smoothing. « Random » variations have been totally eliminated and replaced by continuous gradation. Considerable heterogeneity can be seen:

(1) Paper given at the « 1987 International Oil Palm/Palm Oil Conferences. Progress and Prospects, Kuala Lumpur (Malaysia), 23/6-1/7 1987.

(2) Aek Kwasan, c/o SOCFINDO, P.O. Box 254, Medan (Indonesia).

(3) IRHO-CIRAD, B.P. 5035, 34032 Montpellier Cedex (France).

depending on position, fertility varies from less than 0.7 to over 1.2, i.e. a deviation of 1 to 2. In the comparison of means of crosses, such variations are taken into account by a statistical design.

The results of smoothing in the two other Aek Kwasan trials gave similar results and variograms in which growth is continuous over the entire range of distances observed. However, the variogram for trial LM-GP 08 in Côte d'Ivoire has a very different appearance (Fig. 4) : variance increases slightly and then there is a plateau for a distance of 70 metres. This corresponds to more or less even fertility through the plot with, a few « patches » of higher (or lower) fertility in places. These variations are in fact on a comparable scale to that of estimation error. This is thus a very homogeneous plot.

Inversely, the absence of a horizontal branch in the Aek Kwasan variograms reveals steady variation at plot scale.

Figure 5 shows the structure of phenotype variability in the three Aek Kwasan trials. From bottom to top, genetic variability is followed by random variability caused by the environment and finally variability associated with soil fertility, which therefore forms between 45 and 60 p. 100 of environmental variability. If selection is carried out in function of the bunch yield criterion, the genetic progress expected is written $P = i \cdot h^2 \cdot \sigma$ [Falconer, 1967], or $P = i \cdot \sigma^2 g / \sigma p$ in which i represents selection intensity. Insofar as heritability is weak, dividing environmental variance by 2 is the equivalent of multiplying genetic progress by a coefficient of slightly less than $\sqrt{2}$.

OTHER ENVIRONMENTAL FACTORS

Random factors.

Random factors can be dealt with by traditional statistics. The number of observations should be increased whenever possible. Thus, bunch yield is observed for several years and an adequate number of analyses is carried out throughout the year on each potential ortet [Noiret, 1986].

Factors connected with competition.

It was mentioned in the introduction that bulky trees might be observed to be favoured in a genetic trial which is obligatorily heterogeneous. The good performance of such individuals risks not being reproduced in the clones that might be obtained from them. In effect, trees of a bulky clone will compete with each other, particularly for light, and a fall in yield will probably be observed when they reach adult stage.

It is therefore necessary to take plant growth characters into account in the choice of ortets. In fact, there is considerable variability in this respect in the oil tree. Table I summarises the plant growth observations made on an Aek Kwasan trial. In this trial, 19 Déli × La Mé crosses were tested with 6 local controls (these controls had common *tenera* parentage from Zaïre). The Déli × La Mé material is clearly different, with slower growth, less leaf area and a shorter petiole. Other factors combine to enhance penetration of light in the crowns, thus reducing competition : fronds are more flexible and decumbent, more regular distribution of leaflets along fronds (in contrast, Indonesian crosses possess broad leaflets closely arranged on the distal third of the rachis).

It is therefore important firstly to use planting material with a small volume and slow growth, and secondly to make a field visit to check that the tree chosen using quantitative criteria is in normal competition conditions.

DISCUSSION

Investigation of the structure of environmental variability has led to an effective method being devised for reducing interference in the effectiveness of ortet selection. It led to the application of geostatistics to the study of environmental factors. A factor was revealed and then considered as the soil fertility factor ; this varied in a continuous manner within the plot. Smoothing can be used to obtain the value of this factor at any point. Although remarkable evenness of fertility was observed in one of the trials studied, the three Aek Kwasan trials were shown to be particularly heterogeneous with a ratio of 1 : 2 between the least fertile and most fertile zones. In these trials, fertility alone represented half of the environmental effects. It is therefore indispensable to allow for this by correcting the raw data. This is done by dividing the yield observed by a « smoothing factor » which measures fertility, whereby heritability is approximately doubled, or by multiplying genetic progress by a factor of 1.4. The study of variations in soil fertility is not the only possible application of geostatistics to research on oil palm ; it was used in particular by Lecoustre and Reffye [1986] to analyse pest attack zones and to study the features of the spread of a disease in oil palm and coconut palm.

The other environmental factors can also be reduced by replication of observations when this is possible. Finally, taking competition phenomena into account eliminates the trees with very strong growth characteristics and makes the reproduction of ortet characters in its progeny more reliable.

